

УДК 557.114.5:581.145.2

DOI: 10.15587/1729-4061.2017.117654

Вивчено вплив процесів паротермічної кріообробки та механолізу при дрібнодисперсному подрібненні на біополімери та біологічно активні речовини (БАР) плодів і овочів при отриманні оздоровчих нанопродуктів. Встановлено, що при дії указаних процесів відбувається активація пектинових речовин, більш повне вилучення із сировини (в 4,5...7,3 раз) із прихованої форми, і трансформація у розчинну форму. Розкрито механізм даних процесів, розроблено рекомендації створення оздоровчих нанопродуктів

Ключові слова: неферментативний катализ, механоліз, паротермічна обробка, кріообробка, наноконплеси, гетерополісахаридів, пектинові речовини

Изучено влияние процессов паротермической криообработки и механолиза на биополимеры и биологически активные вещества (БАВ) плодов и овощей при получении оздоровительных нанопродуктов. Установлено, что при действии указанных процессов происходит активация пектиновых веществ, их более полное извлечение (в 4,5...7,3 раза) из скрытой формы и трансформация в растворимую форму. Раскрыт механизм данных процессов, разработаны рекомендации создания оздоровительных нанопродуктов

Ключевые слова: неферментативный катализ, механолиз, паротермическая обработка, криообработка, наноконплесы гетерополисахаридов, пектиновые вещества

ВПЛИВ ПРОЦЕСІВ ПАРОТЕРМІЧНОЇ КРІООБРОБКИ ТА МЕХАНОЛІЗУ НА БІОПРОЛІМЕРИ ТА БІОЛОГІЧНО АКТИВНІ РЕЧОВИНИ ПРИ ОТРИМАННІ ОЗДОРОВЧИХ НАНОПРОДУКТІВ

Р. Ю. Павлюк

Доктор технічних наук, професор,
Заслужений діяч науки і техніки України,
лауреат Державної премії України*

В. В. Погарська

Доктор технічних наук,
професор, лауреат Державної премії України*

Ю. П. Какадій

Аспірант*

E-mail: ykadiy@ukr.net

О. С. Погарський

Аспірант*

E-mail: ktprom@ukr.net

Т. А. Стуконоженко

Аспірант*

E-mail: tasichkayo@gmail.com

*Кафедра технологій переробки плодів, овочів і молока
Харківський державний
університет харчування та торгівлі
вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051

1. Вступ

Актуальність розробки технології оздоровчих продуктів з пребіотичними властивостями та високим вмістом БАР викликана необхідністю вирішення глобальної проблеми імунодефіциту населення [1]. Причинами зниження імунітету населення в більшості країн світу є погіршення екологічної ситуації на Землі, незбалансованість та 50 % дефіцит в раціонах харчування основних видів харчових продуктів (молока, м'яса, риби, фруктів та ягід). Крім того, 50 % дефіцит БАР, що сприяють зміцненню імунітету: вітамінів, каротину, мінеральних речовин, білків та пребіотиків –

неперетравлюваних компонентів їжі (зокрема, пектинових речовин, целюлози, інуліну та ін.) [2, 3]. Тому в провідних країнах світу знайшли широке застосування функціональні оздоровчі продукти, які сприяють зміцненню здоров'я [4]. Перспективною сировиною для отримання оздоровчих продуктів є традиційні фрукти, ягоди, овочі, що відрізняються високим вмістом пектинових речовин, целюлози та біофлавоноїдів [5]. Пектинові речовини та целюлоза є пребіотиками, що сприяють розвитку здорової мікрофлори кишечника. Крім того, мають детоксикуючі властивості, допомагають очищенню організму людини від шкідливих та різних видів токсичних речовин, що містяться в хар-

чових продуктах [6]. Наявність в складі фруктів, ягід, овочів біофлавоноїдів (кверцетину, рутину, урсолової кислоти та ін.), що мають імуномодуючі, антиоксидантні, протипухлинні, детоксикуючі властивості також сприяють отриманню продуктів оздоровчої дії, що сприяють зміцненню імунітету.

Тому актуальним є застосування способів глибокої переробки пектинвмісної рослинної сировини в пюре, що дозволяють трансформувати важкорозчинні речовини та БАР в легкозасвоювану форму. Також актуально є розробка технології оздоровчих продуктів з пребіотичними властивостями та високим вмістом БАР [1].

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Труднощі під час переробки і споживання свіжих фруктів, ягід та овочів пов'язані з тим, що значна частина молекул пектинових речовин, біофлавоноїдів, вітамінів, каротиноїдів та інших знаходиться в неактивній зв'язаній в наноконкомпексах з іншими біополімерами і БАР формі. Тому майже не засвоюються організмом людини [7]. У зв'язку з цим, важко вилучити в розчинну форму в процесі переробки сировини та під час споживання – в шлунку людини. Відомо, що свіжі фрукти, ягоди і овочі організмом людини засвоюються всього на 30...40 % [8].

Дослідження спрямоване на вирішення проблеми дефіциту в Україні натуральних рослинних пектинвмісних гідроколіїдних добавок із високими желуючими властивостями, що одночасно є носіями пребіотиків, вітамінів та інших біологічно активних речовин і знаходяться в легкозасвоюваній формі [9]. Потреба в останніх під час виробництва харчової продукції в Україні складає біля 1 млн тон на рік [10]. На сьогодні в Україні відсутнє вітчизняне виробництво пектину та високоякісних натуральних добавок у формі порошків, пюре та паст із плодовоовочевої пектинвмісної сировини, які одночасно є пребіотиками і носіями БАР [2, 3]. Такі добавки необхідні для створення продуктів оздоровчого харчування. Аналіз наукових літературних даних за останні 10 років показав, що сьогодні в міжнародній практиці існує два основних способи інтенсифікації пектинових речовин під час глибокої переробки пектинвмісних плодів та овочів [11, 12]. Першим і найбільш розповсюдженим є обробка сировини пектолїтичними та цитолїтичними ферментними препаратами [4]. Другим та більш перспективним способом є криогенна обробка сировини з використанням рідкого та газоподібного азоту [13]. В періодичній літературі наведено дані щодо впливу різних видів попередньої обробки пектинвмісної рослинної сировини на поживні речовини та пектинові речовини [14]. На прикладі одного із видів пектинвмісної сировини (томатів) запропоновано спосіб збільшення молекулярної маси пектину та частковому переходу його в розчинну форму. Спосіб заснований на використанні інтенсивної гомогенізації високого тиску [15]. Але даних щодо впливу криогенних низьких температур під час заморожування та подрібнення на якість сировини, БАР, біополімери, в науковій літературі мало, вони мають суперечливий характер. Ця область технології мало вивчена [7].

Також відсутні систематизовані данні щодо впливу інших способів попередньої обробки на зміни пектинових та біологічно активних речовин, на перехід пектинових речовин в розчинну форму. Є окремі розрізнені данні впливу теплової, інфрачервоної, НВЧ обробки на окремі види пектинвмісної сировини (томатів) встановлено, що використання інтенсивної гомогенізації високого тиску призводить до зменшення молекулярної маси пектинових речовин та часткового переходу їх в розчинну форму [15]. Але цей спосіб попередньої обробки не знайшов застосування в технології отримання пектинвмісних добавок.

Слід зазначити, що традиційні методи переробки рослинної сировини призводять до значних втрат вітамінів та інших БАР, біополімерів та неповного використання біологічного потенціалу сировини [7]. У зв'язку з цим, на сьогодні в міжнародній практиці актуальною є розробка високих технологій, зокрема, нанотехнологій, які можуть зробити процес обробки харчової сировини більш ефективним та максимально зберегти та вилучити цінні цільові компоненти – БАР та поживні речовини. Актуальним є також запровадження ресурсозберігаючих процесів, розробка безвідходних технологій та менш енергоємних процесів.

Відомо також, що традиційні методи переробки рослинної сировини призводять до значних втрат вітамінів та інших БАР, біополімерів та неповного використання біологічного потенціалу сировини [7]. У зв'язку з цим, на сьогодні в міжнародній практиці актуальною є розробка високих технологій, зокрема, нанотехнологій, які можуть зробити процес обробки харчової сировини більш ефективним та максимально зберегти та вилучити цінні цільові компоненти – БАР та поживні речовини. Крім того, актуальним є запровадження ресурсозберігаючих процесів, розробка безвідходних технологій та менш енергоємних процесів.

В дійсній роботі під час отримання дрібнодисперсних добавок із фруктів, ягід і овочів як інновацію було запропоновано використовувати комплексну дію на пектинвмісну сировину двох процесів. А саме: процесів паротермічної обробки (або криогенного заморожування) та неферментативного каталізу – механолізу наноасоціатів та наноконкомпексів високомолекулярних біополімерів (гетерополісахаридів, білків та ін.). Отримані дрібнодисперсні добавки із плодовоовочевої сировини (у формі пюре) з якісно новими, ніж у вихідній сировині, споживчими властивостями, які не можливо отримати, використовуючи традиційні методи. На основі добавок розроблено широкий асортимент натуральних продуктів для оздоровчого харчування (начинки для кондитерських виробів, нанопаїв, нано сорбетів та ін.).

3. Мета і завдання дослідження

Метою роботи є вивчення впливу процесів паротермічної, криообробки та механолізу на активацію та вилучення біополімерів важкорозчинних пектинових речовин та БАР із прихованої, зв'язаної в наноконкомпексах з іншими біополімерами в вільну форму при отриманні оздоровчих нанопродуктів.

Для досягнення поставленої мети необхідним є вирішення наступних задач:

- науково обґрунтувати параметри активації та вилучення пектинових речовин із прихованої, зв'язаної форми у розчинну при отриманні заморожених та термооброблених дрібнодисперсних пюре із плодів та овочів з використанням процесів неферментативного каталізу;
- визначити та вивчити біологічно активний комплекс основних БАР та пектинових речовин свіжих плодів та овочів (зокрема, чорної смородини, абрикос, яблук, лимонів з цедрою, гарбузу, шпинату);
- провести порівняння якості дрібнодисперсних пюре (термооброблених та заморожених) зі свіжою плодовоовочевою сировиною та пюре – аналогами за вмістом основних БАР (низькомолекулярних фенольних сполук, поліфенолів, β -каротину, L-аскорбінової кислоти), пребіотичних речовин (розчинного пектину, целюлози) та білків.

4. Матеріали та методи досліджень

4.1. Матеріали та обладнання, що використовувалися під час експериментальних досліджень

Дослідження проведено в Харківському державному університеті харчування та торгівлі (ХДУХТ, Україна) на базі науково-дослідної лабораторії «Інноваційних кріо- та нанотехнологій рослинних добавок та оздоровчих продуктів» кафедри технологій переробки плодів, овочів і молока. Роботу виконано з використанням для кріогенного заморожування сучасного оригінального обладнання, яке є на кафедрі ХДУХТ – програмного кріогенного «шокового» заморожувача, в якому як хладагент та інертне середовище використовували рідкий азот. При цьому, температура в морозильній камері була нижчою за -60°C . Плоди та овочі заморожували з різними високими швидкостями до різних температур в продукті. Для подрібнення використовували низькотемпературний подрібнювач («SIRMAN», Італія).

Більш детально матеріали та методи дослідження, також методики визначення показників досліджуваних зразків наведено в роботі [16].

5. Результати досліджень впливу процесів паротермічної кріообробки та механолізу на біополімери та БАР фруктів, ягід та овочів

Головним при розробці дрібнодисперсних добавок із фруктів, ягід, овочів було максимально вилучити з сировини та трансформувати важкорозчинні пектинові речовини та БАР в розчинну форму. Труднощі полягають в тому, що зазначені речовини знаходяться в наноконкомпексах з іншими полісахаридами, білками та ін.

Виявлено та науково обґрунтовано, що при комплексній дії на рослинну сировину паротермічної або кріообробки та дрібнодисперсного подрібнення відбувається активація важкорозчинних наноконкомплексів гетерополісахаридів (зокрема, пектинових речовин) з іншими біополімерами за рахунок термо- кріо- та механодеструкції. Це призводить до вивільнення із скритих, зв'язаних форм у вільний стан в 4,5...4,8 разів більше ніж у вихідній сировині при кріообробці

і в 3,6...3,9 разів більше при термообробці та дрібнодисперсному подрібненні (табл. 1). Виявлено також, що при кріогенному заморожуванні плодів та овочів також відбувається кріодеструкція наноконкомплексів біополімерів і вивільнення загального пектину в 1,5...2,0 рази більше ніж у вихідній сировині (табл. 1). Установлено також, що при паротермічній обробці плодів та овочів в пароконвекційній печі протягом 10 хвилин відбувається також більш повне вилучення загального пектину в 1,4...2,0 разів більше ніж у вихідній сировині (табл. 1).

Крім того, виявлено, що при термообробці та кріогенному дрібнодисперсному подрібненні відбувається руйнування пектинових речовин до окремих мономерів. Так, при дрібнодисперсному подрібненні паротермічно оброблених фруктів та ягід масова частка розчинного пектину збільшується в 5,1...6,0 разів в порівнянні з вихідною сировиною, а при кріогенній обробці та дрібнодисперсному подрібненні в 6,1...7,3 рази (рис. 4). Це вказує про те, що важкорозчинний протопектин руйнується і трансформується у розчинну форму. Показано, що значна частина пектинових речовин в нанопюре знаходиться в розчинній формі (до 70 %), що сприяє збільшенню желуючих властивостей отриманих пюре з фруктів, ягід та овочів (табл. 1, рис. 4).

Аналогічні закономірності відбуваються і під час такої ж обробки всіх плодів та овочів, які наведено в роботі (табл. 1, рис. 1)

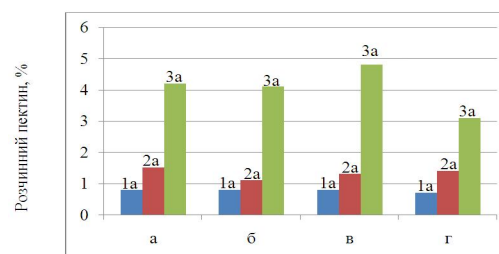
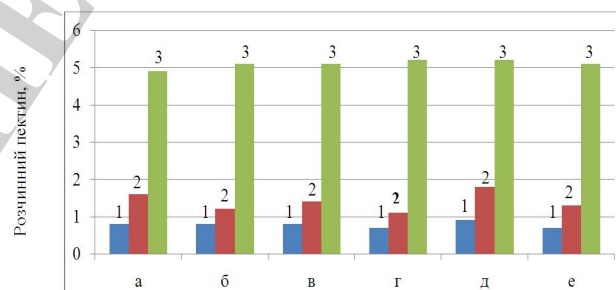


Рис. 1. Вплив заморожування (I) (або паротермічної обробки (II)) та механолізу при дрібнодисперсному подрібненні плодів та овочів на вилучення та руйнування нерозчинних пектинових речовин до окремих мономерів у розчинну форму, де: а – чорна смородина, б – абрикоси, в – гарбуз, г – яблука, д – лимони, д – шпинат; 1 – свіжі плоди або овочі; 2 – заморожені; 3 – заморожені та дрібнодисперсно подрібнені, 1а – свіжі плоди та овочі; 2а – паротермооброблені; 3а – паротермооброблені та дрібнодисперсно подрібнені, а – чорна смородина; б – абрикоси; в – яблука; г – гарбуз; д – лимони з цедрою; е – шпинат

Таблиця 1

Вплив кріозаморожування, паротермічної обробки та неферментативного каталізу на трансформацію важкорозчинних пектинових речовин у розчинну форму

Сировина	Загальна кількість пектинових речовин		Протопектин		Розчинний пектин		Органічні кислоти	
	%	% до вихідного	%	% до вихідного	%	% до вихідного	%	% до вихідного
Свіжа чорна смородина	1,6	100,0	0,6	100,0	0,8	100,0	6,2	100,0
Заморожена чорна смородина	3,0	187,5	1,0	166,0	1,6	200,0	7,0	112,0
Заморожене дрібнодисперсне пюре з чорної смородини	7,4	462,5	1,6	266,6	4,9	612,5	9,6	154,8
Термооброблена чорна смородина	2,9	184,3	0,9	153,1	1,5	187,5	7,2	116,4
Термооброблене дрібнодисперсне пюре з чорної смородини	6,9	435,2	1,5	257,9	4,2	525,0	8,8	143,7
Свіжий шпинат	1,3	100,0	0,5	100,0	0,7	100,0	0,6	100,0
Заморожений шпинат	2,1	161,5	0,9	180,0	1,3	185,7	0,8	133,0
Заморожене дрібнодисперсне пюре зі шпинату	5,9	454,5	1,0	200,0	5,1	728,5	1,0	166,6
Свіжі абрикоси	1,6	100,0	0,6	100,0	0,8	100,0	1,0	100,0
Заморожені абрикоси	2,4	150,0	1,0	166,6	1,2	150,0	1,2	120,0
Заморожене дрібнодисперсне пюре з абрикосів	7,2	450,0	1,9	316,6	5,1	637,6	1,5	150,0
Термооброблені абрикоси	2,3	144,0	1,0	166,6	1,1	140,2	1,3	130,6
Термооброблене дрібно-дисперсне пюре з абрикосів	5,8	362,5	1,6	266,6	4,1	512,5	1,4	140,0
Гарбуз свіжий	1,0	100,0	0,3	100,0	0,7	100,0	0,6	100,0
Заморожений гарбуз	1,8	150,0	0,7	166,6	1,1	150,0	0,8	120,0
Нанопюре заморожене з гарбуза	4,5	450,0	0,6	200,0	5,2	650,0	1,0	166,6
Термооброблений гарбуз	2,0	200,0	0,6	200,0	1,4	200,0	0,7	112,0
Термооброблене дрібнодисперсне пюре з гарбуза	4,4	440,0	0,7	220,0	3,1	430,0	0,9	153,0
Свіжі яблука (сорт Семеренко)	1,5	100,0	0,7	100,0	0,8	100,0	0,8	100,0
Заморожені яблука	2,5	166,6	1,1	157,2	1,4	175,0	1,1	137,5
Заморожене дрібнодисперсне пюре з яблук	7,2	480,0	2,1	300,0	5,1	637,5	1,4	175,2
Термооброблені яблука	2,3	153,3	1,0	144,0	1,3	162,5	1,2	150,0
Термооброблене дрібнодисперсне пюре з яблук	5,9	393,3	1,2	171,4	4,8	600,0	1,3	162,5
Свіжі лимони з цедрою	1,8	100,0	0,9	100,0	0,9	100,0	10,5	100,0
Заморожені плоди лимонів з цедрою разом	3,6	200,0	1,4	155,5	1,8	200,0	12,5	119,0
Заморожене дрібнодисперсне пюре з лимонів з цедрою	7,8	433,3	2,0	222,0	5,2	577,7	15,6	148,5

Таким чином, показано, що під час заморожування та дрібнодисперсного подрібнення рослинної сировини відбувається більш повне вилучення важкорозчинних пектинових речовин із зв'язаного стану з макромолекулами інших полісахаридів, білків та мінеральних речовин у вільну активну форму. Збільшення у порівнянні зі свіжою сировиною становить 4,5...4,8 раз. Крім того, встановлено аналогічне збільшення під час паротермічної обробки та дрібнодисперсного подрібнення, що становить у порівнянні з вихідною сировиною 3,6...3,9 рази. Паралельно відбувається неферментативний каталіз важкорозчинних пектинових речовин до окремих мономерів, тобто, вони трансформуються в розчинну легкозасвоювану форму. Аналогічні закономірності отримані і при заморожуванні та низькотемпературному подрібненні всіх об'єктів дослідження.

Механізм цього процесу пов'язаний з термодеструкцією механо- та кріодеструкцією, які призводять до руйнування складних наноконкомплексів і вивільнення їх із прихованої форми пектинових речовин в розчинну легкозасвоювану форму (рис. 2).

При цьому відбувається неферментативний каталіз – механоліз, механокрекінг (руйнування) водневих та іонних зв'язків у наноконкомплексах та самих біополімерів. Паралельно відбувається також трансформація (руйнування) протопектину до окремих мономерів – галактуронової кислоти. Про це свідчить і значне збільшення органічних кислот (на 30...40 %) при термообробці або заморожуванні відносно вихідної сировини, та на 50...70 % при отриманні нанопюре (замороженого або термообробленого).

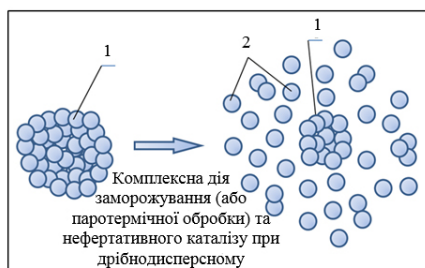


Рис. 2. Схема механізму впливу комплексної дії заморожування (або паротермічної обробки) та механолізу при дрібнодисперсному подрібненні під час переробки плодів та овочів на молекулу біополімеру важкорозчинного гетерополісахариду пектину з відокремленням мономерів галактуринової кислоти і трансформацією в легкозасвоювану форму, де: 1 – біополімер пектину; 2 – галактуринова кислота

Механізм указаних процесів був підтверджений при порівнянні ІЧ-спектрів замороженого дрібнодисперсного пюре з плодової сировини (яблук та абрикосів) і свіжої вихідної сировини. Показано, що в межах частот від 3200 до 3650 см^{-1} відбувається зменшення інтенсивності спектрів. Ця область частот характерна для валентних коливань функціональних груп ОН, що беруть участь в утворенні внутрішньомолекулярних і міжмолекулярних водневих зв'язків. Такі зв'язки входять до складу вільної та зв'язаної вологи, комплек-

сів біополімер – БАР (зокрема, пектинових речовин), біополімерів (зокрема, фенольних сполук, дубильних речовин, цукрів та інш.). Отримані результати спектроскопічних досліджень вказують на руйнування міжмолекулярних і внутрішньомолекулярних водневих зв'язків, деструкцію нанокомплексів біополімерів (зокрема, пектинових речовин) із іншими біополімерами та низькомолекулярними БАР. Крім того, свідчать про дезагрегацію та механоліз біополімерів або асоціації і нанокомплексів до окремих мономерів.

Входило також вивчення біологічно активного комплексу основних БАР і пребіотичних речовин (пектину, целюлози, білка) свіжих плодів, овочів, які використовували в роботі. В якості критеріїв були обрані такі БАР: низькомолекулярні та високомолекулярні фенольні сполуки, β -каротин, L-аскорбінова кислота, пектинові речовини, целюлоза, білок.

Аналіз отриманих експериментальних даних вмісту БАР в плодах та овочах вказує про те, що в них в найбільшій кількості містяться низькомолекулярні фенольні сполуки, які представлені оксикоричними кислотами та розраховуються по хлореновій кислоті в кількості (від 280 до 680 мг в 100 г в залежності від виду сировини) (табл. 2). Містять, також, значну кількість флавонолових глікозидів (зокрема, рутин) від 55 мг в 100 г до 160 мг в 100 г, та поліфенольних дубильних речовин – від 185 мг в 100 г до 540 мг в 100 г (залежно від виду плодів).

Таблиця 2

Порівняльна характеристика БАР (L-аскорбінової кислоти, β -каротину, фенольних сполук) та пребіотичних речовин (пектину, целюлози) в свіжих плодах та овочах і заморожених наноструктурованих пюре з них

Продукт	Масова частка, мг в 100 г					Масова частка, г в 100 г			
	фенольних сполук (за хлорогеновою кислотою)	флавонолових глікозидів (за рутином)	поліфенолів – дубильних речовин	β-каротину	L-аскорбінової кислоти	білку	загальної кількості пектинових речовин	целюлози	загального цукру
Яблука свіжі	520,1±27,0	156,3±12,3	354,0±8,2	0,1±0,05	56,3±2,6	1,9±0,2	1,5±0,1	1,7±0,1	7,6±0,1
Нанопюре заморожене з яблук	870,2±17,3	264,2±17,3	643,0±12,3	0,2±0,05	108,2±10,3	2,4±0,3	7,2±1,0	1,5±0,1	9,8±0,2
Нанопюре паротермічно оброблене з яблук	620,2±10,2	80,3±5,4	470,3±5,4	0,2±0,05	94,2±1,2	2,3±0,1	5,9±0,6	1,5±0,1	9,7±0,2
Лимони свіжі	340,1±10,5	70,6±5,2	290,1±4,8	0,2±0,05	68,2±3,4	2,5±0,1	1,8±0,2	2,6±0,2	10,5±1,0
Нанопюре заморожене з лимонів з цедрою	740±12,5	150,0±4,8	480,0±10,5	0,4±0,05	132,4±5,2	3,0±0,1	7,8±1,0	2,1±0,1	12,5±1,8
Абрикоси свіжі	250,2±7,7	55,6±2,5	185,4±12,0	9,2±1,6	45,1±3,6	1,5±0,1	1,4±0,1	1,1±0,1	7,5±0,5
Нанопюре заморожене з абрикосів	420,6±10,5	101,2±5,4	302,6±12,6	30,2±2,6	125,2±10,2	1,8±0,1	7,2±0,2	1,0±0,1	8,9±0,6
Нанопюре паротермічно оброблене з абрикосів	300,4±14,1	70,2±3,8	250,3±4,2	25,8±2,9	57,6±2,6	1,8±0,2	5,8±0,5	1,0±0,2	8,8±0,5
Чорна смородина свіжа	680,3±17,4	145,5±12,4	542,0±20,4	4,5±0,5	265,0±20,4	1,2±0,1	1,6±0,1	2,5±0,3	8,0±0,5
Нанопюре заморожене з чорної смородини	990, ±25,4	250,8±13,3	984,2±24,3	13,5±0,8	610,4±25,3	1,5±0,2	7,4±0,5	2,3±0,2	10,2±0,8
Гарбуз свіжий	180,3±11,6	56,6±2,3	210,2±4,8	9,6±0,5	18,2±0,1	1,6±0,1	1,0±0,3	1,4±0,6	7,5±0,5
Нанопюре заморожене з гарбуза	332,1±15,2	108,0±4,4	390,1±6,7	40,2±2,5	39,4±0,5	2,2±0,1	4,5±0,5	1,0±0,4	8,9±0,7
Нанопюре з гарбуза термооброблене	280,5±10,4	84,2±4,8	325,4±7,3	30,2±2,8	29,6±1,3	1,7±0,1	3,6±0,4	1,0±0,3	8,9±0,4
Шпинат свіжий	280,6±6,4	95,2±5,6	350,0±3,4	6,2±0,1	50,4±4,0	2,5±0,1	0,7±0,05	1,9±0,1	6,8±0,5
Нанопюре заморожене зі шпинату	536,2±18,2	180,1±4,5	590,2±5,2	20,8±0,2	142,5±5,5	3,4±0,1	5,1±0,4	1,3±0,1	7,9±0,7

Показано також, що в жовтооранжевих плодах – абрикосах, гарбузі масова частка β -каротину коливалась від 9,2 до 9,6 мг в 100 г. Всі плоди та овочі містять L-аскорбінову кислоту в кількості від 45 мг в 100 г в абрикосах, до 265 мг в 100 г в ягодах чорної смородини. У всіх плодах містяться пребіотичні речовини, зокрема, пектинові речовини в кількості: від 1,4 % до 6,5 % залежно від виду сировини, та целюлози – від 1,1 % до 1,9 %. Кількість білку в фруктах, ягодах та овочах коливалась від 1,2 % до 2,5 %. Зазначений комплекс БАР, що міститься в фруктах, ягодах, овочах, які вивчалися в роботі, сприяє зміцненню кровоносних судин серця і мозку, імунної системи за рахунок антиоксидантної, детоксикуючої, антибактеріальної та протипухлинної дії на організм людини.

Проведено порівняння якості за вмістом БАР нових дрібнодисперсних добавок в формі пюре із фруктів, ягід, овочів, вихідної сировини та аналогів. Показано, що нові добавки відрізняються високим вмістом БАР (низькомолекулярних фенольних сполук, дубильних речовин, β -каротину, L-аскорбінової кислоти, розчинних пектинових речовин). Встановлено, що в дрібнодисперсному замороженому та термообробленому пюре із досліджуваної сировини масова частка БАР відповідно була більшою в 1,5...4,0 рази та 1,5...3,0 рази, ніж у свіжій сировині (табл. 2).

Таким чином, якість дрібнодисперсних пюре перевищує якість вихідної сировини і суттєво перевищує якість пюре – аналогів. У порівнянні зі свіжою (вихідною) сировиною пюре – аналоги, що отримані із використанням традиційних методів теплової обробки сировини та подрібнення, відрізняються від нових пюре суттєвими втратами БАР (на 20...80 %).

На основі експериментальних досліджень розроблено нанотехнологію заморожених дрібнодисперсних добавок із фруктів, ягід, овочів. Від традиційних нова технологія відрізняється застосуванням високої швидкості та більш низької кінцевої температури заморожування продукту ($-32...-35^{\circ}\text{C}$) за рахунок використання рідкого або газоподібного азоту. Крім того, відрізняється застосуванням дрібнодисперсного подрібнення до часточок, розміри яких значно менші за традиційні. Нові види добавок зберігаються за температури -18°C протягом 12 місяців без втрати вітамінів та інших БАР. Експериментально визначені та обґрунтовані раціональні параметри технології (для кожного з зазначених видів сировини окремо), розроблені технологічні схеми, підібране обладнання, розроблений проект НД (ТУ), проведена апробація у виробничих умовах.

6. Обговорення результатів дослідження впливу процесів паротермічної, кріообробки та механолізу на біополімери та БАР фруктів, ягід та овочів

Робота присвячена вивченню впливу процесів паротермічної або кріогенної обробки пектинвмісної рослинної сировини та неферментативного каталізу – механолізу при дрібнодисперсному подрібненні на біополімери та біологічно активні речовини. Показано, що комплексна дія на рослинну сировину зазначених процесів призводить до активації важкорозчинних наноконкомплексів пектинових речовин з іншими біопо-

лімерами за рахунок процесів термо-, кріо- та механо-деструкції.

Отримані результати були використані при розробці нанотехнології оздоровчих нанопродуктів (зокрема, пюре). Нова технологія дозволяє при переробці пектинвмісної рослинної сировини більш повно вилучити та трансформувати в легкозасвоювану форму важкорозчинні речовини (пектин, целюлозу, інουλін та ін.), що мають пребіотичні властивості.

Перевагами даного дослідження є те, що встановлена можливість вивільнення із прихованої зв'язаної форми у вільний стан пектинових речовин. У порівнянні з вихідною (свіжою) сировиною масова частка пектинових речовин збільшується при кріозаморожуванні та дрібнодисперсному подрібненні в 4,5...4,8 рази та в 3,6...3,9 рази при паротермічній обробці та дрібнодисперсному подрібненні. Крім того, встановлено більш повне вилучення загального пектину при кріозаморожуванні (в 1,5...2,0 рази) та паротермічній обробці (1,4...2,0 рази), а також руйнування пектинових речовин до окремих мономерів. Встановлено збільшення масової частки розчинного пектину відповідно в 5,1...6,0 раз та в 6,1...7,3 рази при паро – та кріообробці. Виявлено механізм зазначених процесів. Він пояснюється частковим руйнуванням і трансформацією до 70 % важкорозчинного протопектину у розчину форму. Це сприяє збільшенню желуючих властивостей нових пюре з фруктів, ягід та овочів у порівнянні з аналогами. Крім того, отримані пюре відрізняються значним вмістом БАР оздоровчої дії, що також мають барвні, ароматичні властивості.

Розроблені рекомендації використання наноструктурованих дрібнодисперсних пюре із фруктів, ягід, овочів у складі продукції для оздоровчого харчування з рекордним вмістом натуральних БАР. Розроблено широкий асортимент нанопаїв, наносорбетів, молочно-рослинних коктейлів, начинок для кондитерських та екструдованих виробів, сиркових десертів, хлібобулочних виробів, закусок – фалафелів, кремів. Нові види продуктів призначені для використання на великих та малих харчових підприємствах, у закладах ресторанного бізнесу і торгівлі та для індивідуального харчування.

Із застосуванням отриманих нанопюре із плодово-овочевої сировини розроблені продукти для оздоровчого харчування, зокрема, начинки для кондитерських виробів «ПанКейк» та екструдованих продуктів, які в рамках 2-х госпдоговірних тем впроваджені у виробництво (Кондитерська фірма «Лісова казка», м. Харків). Розроблені також вітамінізовані оздоровчі сокові нанопаї та наносорбети, які були вироблені у виробничих умовах в НВФ «КРІАС» та НВФ «ХПК». Апробація нової продукції у виробничих умовах підтверджує доцільність виготовлення заморожених плодовоовочевих нанодобавок та оздоровчих продуктів з використанням).

Перспективним напрямком продовження досліджень є розробка на основі отриманих дрібнодисперсних пюре нових видів добавок у формі порошків із різних видів рослинної сировини. Визначити вплив видів сушіння на збереження БАР, пектинових речовин, фізико – хімічні, структурно – механічні, мікробіологічні процеси при отриманні порошків в залежності від виду вихідної сировини. На основі отриманих

порошків – збагачувачів натуральними БАР, барвників, ароматизаторів, структуроутворювачів розробити широкий асортимент продуктів спец призначення, включаючи продукти для зони АТО, полярників, космонавтів, підводників, тиристів та ін.

7. Висновки

1. Установлено та науково обґрунтовано, що при комплексній дії на плоди та овочі паротермічної (або крио-) обробки та дрібнодисперсного подрібнення відбувається активація важкорозчинних наноконкомплексів гетерополісахаридів (зокрема, пектинових речовин) з іншими біополімерами. Активація відбувається за рахунок процесів термо-, крио- та механодеструкції. Це приводить до вивільнення із прихованих, зв'язаних форм у вільний стан та збільшення у порівнянні з вихідною сировиною масової частки пектинових речовин при крио- (або паротермічній) обробці та дрібнодисперсному подрібненні відповідно – в 4,5...4,8 раз та в 3,6...3,9 раз. Паралельно відбувається неферментативний каталіз 70 % важкорозчинних пектинових речовин до окремих мономерів, тобто трансформація в розчинну легкозасвоювану форму.

2. Установлено, що в плодах (чорної смородини, абрикосів, лимонів, яблук) та овочах (шпинаті, гарбузі) в значній кількості містяться БАР. Кількість залежно від виду вихідної сировини в 100 г становить: низькомолекулярних фенольних сполук (зокрема, оксикоричних кислот) – 280...680 мг, флавонолових

глікозидів (зокрема, рутину) – 55...160 мг, поліфенолів – 185...540 мг. Показано також, що всі плоди та овочі містять від 45 до 265 мг в 100 г L-аскорбінової кислоти в залежності від виду сировини та каротинвмісні плоди містять β-каротин в кількості від 9,2 до 9,8 мг в 100 г. Це складає майже дві добові норми організму людини в β-каротині. Показано також, що у всіх плодах та овочах містяться пребіотичні речовини (пектин, целюлоза, білок). Присутні в плодах і овочах БАР та пребіотичні речовини надають їм лікувально-профілактичні властивості.

3. Встановлено збільшення у порівнянні зі свіжою сировиною масової частки БАР в дрібнодисперсних заморожених та термооброблених пюре із досліджуваної сировини (чорної смородини, абрикосів, лимонів, яблук, шпинату, гарбузу). Збільшення відповідно становить 1,5...4,0 рази та 1,5...3,0 рази. Якість отриманих нових видів дрібнодисперсних пюре перевищує відомі аналоги за вмістом БАР та технологічними характеристиками. Нові види пюре знаходяться в нанорозмірній, легкозасвоюваній формі.

4. Із застосуванням нових видів дрібнодисперсних добавок розроблено широкий асортимент продуктів для оздоровчого харчування з рекордним вмістом натуральних БАР. Розроблені нові види нанопаїв, наносорбетів, молочно-рослинних коктейлів, начинок для кондитерських та екструдованих виробів, сиркових десертів, хлібобулочних виробів, закусок – фалафелів, кремів та ін. Нові добавки рекомендовані для використання на великих та малих харчових підприємствах, у закладах ресторанного бізнесу, торгівлі, в індивідуальному харчуванні.

Література

1. Павлюк, Р. Ю. Новый напрямок глибокої переробки харчової сировини [Текст]: монографія / Р. Ю. Павлюк, В. В. Погарська, Л. О. Радченко, В. А. Павлюк, Р. Д. Таубер, Н. М. Тимофеева та ін. – Х.: Факт, 2017. – 380 с.
2. Капрельянц, Л. В. Пребиотики: химия, технология, применение [Текст]: монография / Л. В. Капрельянц. – К.: ЭнтерПринт, 2015. – 252 с.
3. Handbook of Prebiotics [Text] / M. Roberfroid, G. R. Gibson (Eds.). – CRC Press, 2008. – 504 p. doi: 10.1201/9780849381829
4. Pavlyuk, R. The development of cryogenic method of deep treatment of inulin-containing vegetables (topinambour) and obtaining of prebiotics in the nanopowders form [Text] / R. Pavlyuk, V. Pogarska, V. Pavlyuk, K. Balabai, S. Loseva // EUREKA: Life Sciences. – 2016. – Issue 3. – P. 36–43. doi: 10.21303/2504-5695.2016.00145
5. Безусов, А. Т. Технологія виробництва галактуронових олігосахаридів із пектинвмісної сировини [Текст] / А. Т. Безусов, М. Г. Малькова // Харчова наука і технологія. – 2010. – № 1 (10). – С. 58–61.
6. Sousa, V. M. C. de The Importance of Prebiotics in Functional Foods and Clinical Practice [Text] / V. M. C. de Sousa, E. F. dos Santos, V. C. Sgarbieri // Food and Nutrition Sciences. – 2011. – Vol. 02, Issue 02. – P. 133–144. doi: 10.4236/fns.2011.22019
7. Павлюк, Р. Ю. Крио- и механохимия в пищевых технологиях [Текст]: монография / Р. Ю. Павлюк, В. В. Погарская, В. А. Павлюк, Л. А. Радченко, О. А. Юрьева, Н. Ф. Максимова. – Х.: Факт, 2015. – 255 с.
8. Симяхина, Г. А. Повышение биологической усвояемости криоматериалов как проявление механоактивации [Текст] / Г. А. Симяхина // Вибротехнологии. – 1996. – Т. 3. – С. 75–78.
9. Голубев, В. Н. Пектин: химия, технология, применение [Текст]: монография / В. Н. Голубев, Н. П. Шелухина. – М.: Акад. технолог. наук, 1995. – 387 с.
10. Pavlyuk, R. The new method of processing of carotene-containing vegetables for the production of nanopowders using combi-steamers and fine-dispersed comminution [Text] / R. Pavlyuk, V. Pogarska, L. Radchenko, D. Tauber Roman, N. Timofeyeva, T. Kotuyk // EUREKA: Life Sciences. – 2016. – Issue 3. – P. 44–49. doi: 10.21303/2504-5695.2016.00146
11. Burana-osot, J. Partial depolymerization of pectin by a photochemical reaction [Text] / J. Burana-osot, N. Soonthornchareonnon, S. Hosoyama, R. J. Linhardt, T. Toida // Carbohydrate Research. – 2010. – Vol. 345, Issue 9. – P. 1205–1210. doi: 10.1016/j.carres.2010.04.007
12. Schols, H. A. Structural features of native and commercially extracted pectins [Text] / H. A. Schols, J. M. Ros, P. J. H. Daas, E. J. Bakx, A. G. J. Voragen // Gums and Stabilisers for the Food Industry 9. – 1998. – P. 3–15. doi: 10.1533/9781845698362.1.3

13. Gaukel, V. Cooling and Freezing of Foods [Text] / V. Gaukel // Reference Module in Food Science. – 2016. doi: 10.1016/b978-0-08-100596-5.03415-6
14. Xin, Y. Research trends in selected blanching pretreatments and quick freezing technologies as applied in fruits and vegetables: A review [Text] / Y. Xin, M. Zhang, B. Xu, B. Adhikari, J. Sun // International Journal of Refrigeration. – 2015. – Vol. 57. – P. 11–25. doi: 10.1016/j.ijrefrig.2015.04.015
15. Onwude, D. I. Non-thermal hybrid drying of fruits and vegetables: A review of current technologies [Text] / D. I. Onwude, N. Hashim, R. Janius, K. Abdan, G. Chen, A. O. Oladejo // Innovative Food Science & Emerging Technologies. – 2017. – Vol. 43. – P. 223–238. doi: 10.1016/j.ifset.2017.08.010
16. Pogarska, V. Development of the extraction method of inactive forms of pectin substances from fruits to easy-digestible active form during the obtaining of nanofood [Text] / V. Pogarska, R. Pavlyuk, R. D. Tauber, A. Pogarskiy, A. Berestova, T. Kravchuk et. al. // EUREKA: Life Sciences. – 2017. – Issue 6. – P. 57–64. doi: 10.21303/2504-5695.2017.00520

ТОЛЬКО ДЛЯ ЧТЕНИЯ

